

Sonderdruck aus:

Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie

Herausgegeben von Dr. Hans Liebmann, ordentlicher Professor für Zoologie,
Parasitologie und Hydrobiologie an der Universität München

B A N D 6

Die Wirkung von Glaubersalz als dem Haupt-
bestandteil des Abwassers der Viskoseindustrie
auf Wasserorganismen unter
besonderer Berücksichtigung der Rotatorien

Von RUTH WILCK

Die ausführliche Arbeit liegt als Dissertation bei der Universität
München vor

VERLAG R. OLDENBOURG
MÜNCHEN 1959



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555213_0095

Die Wirkung von Glaubersalz
als dem Hauptbestandteil des Abwassers
der Viskoseindustrie auf Wasserorganismen
unter besonderer Berücksichtigung
der Rotatorien

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
an der Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von

R U T H M Ü L L E R

aus Naumburg (Saale)

Januar 1958



5349/60

1. Referent: Professor Dr. H. Liebmann

2. Referent: Professor Dr. K. von Frisch

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Februar 1958

Die Wirkung von Glaubersalz als dem Hauptbestandteil des Abwassers der Viskoseindustrie auf Wasserorganismen unter besonderer Berücksichtigung der Rotatorien¹⁾

Von RUTH WILCK, Bayerische Biologische Versuchsanstalt München

I. Einleitung

Das Glaubersalz, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, ein Salz von geringem wirtschaftlichem Nutzwert, gewinnt als Abfallprodukt der Kunstseide- und Zellwollefabriken, die nach den Viskoseverfahren arbeiten, hinsichtlich der Menge, welche täglich mit dem Abwasser in den Vorfluter gelangt, immer mehr an Bedeutung, da es zu einer Anreicherung des Salzes in den betreffenden Gewässern, also zu einer Versalzung kommt.

Das biologische Charakteristikum eines versalzten Vorfluters ist die sogenannte Verödung der normalen Fauna und Flora, im extremen Fall sogar eine völlige Vernichtung derselben. Unter Verödung versteht man eine geringe Arten- aber hohe Individuenzahl der dem Salz gegenüber widerstandsfähigen Formen auf Kosten der weniger widerstandsfähigen. Ein Gewässer, dessen Organismenwelt auf diese Art verändert ist, kann sich je nach dem Grad der Versalzung nur noch in beschränktem Umfang biologisch selbst reinigen, worunter eine Reinigung des Wassers besonders von organischen, aber auch anorganischen Verunreinigungen mit Hilfe von Kleinlebewesen zu verstehen ist.

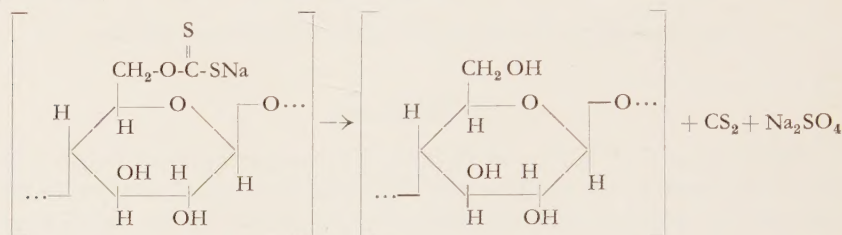
Im Rahmen meiner Arbeit untersuchte ich den Einfluß von Glaubersalz auf Wasserorganismen unter besonderer Berücksichtigung der Rotatorien oder Rädertiere sowohl unter natürlichen Verhältnissen als auch im Laboratorium.

II. Allgemeine Literatur

Die deutschen Kunstseide- und Zellwollefabriken arbeiten nach SIERP, SPLITZGERBER und HOLTHÖFER (1939) vorwiegend nach dem sogenannten Viskoseverfahren. Als Rohstoff verwendet man dabei Zellstoff, technisch reine Zellulose, die durch Behandeln mit Natronlauge und Schwefelkohlenstoff in sulfidierte Alkalizellulose, Zellulosexanthogenat, überführt wird. Das Zellulosexanthogenat löst sich in Natronlauge unter Bildung einer sirupartigen

¹⁾ Inaug.-Diss. der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität München. Die Verfasserin dankt ihrem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. LIEBMANN, für die Überlassung des Themas und für die vielen Anregungen bei der Durchführung der Arbeit.

Flüssigkeit, der Viskose, die als Spinnflüssigkeit Verwendung findet. Zur Erzeugung des Fadens wird die Viskose durch Düsen in ein Spinnbad aus verdünnter Schwefelsäure, das noch zusätzlich Natriumsulfat enthält, gespritzt. Der fertige Faden besteht aus fast reiner Zellulose, da sich die Viskose besonders unter Ausscheidung von Schwefelkohlenstoff und Natriumsulfat (letzteres bildet sich aus dem Natrium der Viskose und der Schwefelsäure des Spinnbades) in Zellulose zurückverwandelt:



MEINCK, STOOF und WELDELT (1953) haben die Abwässer der Kunstseide- und Zellwollefabriken wie folgt charakterisiert: der größte Teil dieser verschiedenartigen Abwässer reagiert deutlich sauer. Ferner ist ein Geruch von Schwefelwasserstoff und Schwefelkohlenstoff zu bemerken. Die Gesamtmenge der ungelösten Verbindungen (größtenteils organisch) kann bis zu 1 g/l betragen, diejenige der gelösten Stoffe (überwiegend mineralisch) bis zu 10 g/l. Die Einleitung der Kunstseide- und Zellwollefabrikabwässer in den Vorfluter ist ohne Vorbehandlung nicht zulässig, da durch Faserstoffe, freie Mineralsäuren, flüchtige Schwefelverbindungen, Sauerstoffschwund und Pilzentwicklung Gefahren für tierische und pflanzliche Wasserorganismen auftreten können.

Für die Süddeutsche Zellwolle AG, Kelheim (Donau), hat TSCHÖNHENS (1951) den gesamten täglichen Abwasseranfall bei der Erzeugung von 33 t Zellwolle mit 8850 m³ angegeben und für die Vereinigten Glanzstoff-Fabriken AG Obernburg (Main) mit rd. 1000 m³. Bei der Betrachtung dieser Zahlen, besonders der ersten, muß man STEFFEN (1952) zustimmen, der u. a. auch die Kunstseidefabriken zu den Großwasserverbrauchern mit entsprechend hohen Abwassermengen gerechnet hat. In diesem Zusammenhang ist angeführt worden, daß die Belastung eines Vorfluters durch eine Kunstseidefabrik, welche täglich 10 t produziert, ebenso stark ist wie durch die städtischen Abwässer einer Stadt mit etwa 7000 Einwohnern.

Weitere Industriezweige, deren Abwässer Glaubersalz enthalten, sind nach MEINCK, STOOF und WELDELT (1953) folgende: die Kunststoffindustrie, bei der Produktion von Kunststoffen auf Zellulosebasis und als Kondensationsprodukte, ferner Fabriken zur Herstellung von anorganischen Farbstoffen, wie dem künstlichen Eisenrot und dem Schweinfurter Grün, und die Erdölindustrie, wobei sich die Zusammensetzung des Erdölabwassers je nach der Beschaffenheit des Bodens, wo die Bohrung stattfindet, ändern kann.

Den anorganischen Salzen kommt als Verunreinigung eines Vorfluters in der Hinsicht eine besondere Stellung zu, da diese im allgemeinen nicht der biologischen Selbstreinigung unterliegen. Nur unter ganz bestimmten Bedingungen, nämlich bei Sauerstoffmangel und der Anwesenheit des Bakteriums *Sporovibrio desulfuricans*, werden z. B. die Sulfate durch Reduktion abgebaut, wie SCHULZE (1953) dargelegt hat. Nach MEINCK, STOOFF und WELDERT (1953) kann dementsprechend die etwaige schädliche Wirkung von gelösten anorganischen Bestandteilen industrieller Abwässer hauptsächlich nur durch die allmählich eintretende Verdünnung durch den Vorfluter abgeschwächt bzw. beseitigt werden.

Die Wirkung von Salzen auf tierische Wasserorganismen, speziell Rotatorien, hat LÜRMANN (1951/53) mit dem Einfluß besonders des osmotischen Druckes, aber auch der aktiven Ionenaufnahme des tierischen Eiweißes zu erklären versucht. Da die Haut der von ihr untersuchten Rädertiere weitgehend impermeabel ist, sollen sich die osmotischen Vorgänge an der Magenwand derselben abspielen.

Eine ausführliche Beschreibung der Rotatorien in allgemeiner biologischer Hinsicht ist von WESENBERG-LUND (1939) gegeben worden. Danach ist ihre genaue systematische Stellung sehr zweifelhaft, doch gehören sie bestimmt zu der großen Gruppe der Vermes oder Würmer. Die Tiere können sowohl im Wasser als auch auf dem Lande unter den verschiedensten Lebensbedingungen angetroffen werden und sind mikroskopisch klein. Das charakteristischste und darum namengebende Organ der vielgestaltigen Rädertiere ist ihr sogenanntes Räderorgan, eine Wimperscheibe am Kopfabschnitt des Körpers, mit deren Hilfe sich die Tiere fortbewegen, aber auch ihre Nahrung wie Algen, Protozoen und Detritus, aus Pflanzen- und Tierresten bestehende Schweb- und Sinkstoffe des Wassers, heranstrudeln. Es gibt aber auch räuberische Formen unter ihnen. Die überwiegende Mehrheit dieser Organismen weist ferner einen Fuß am Rumpf auf. Sehr interessant ist die Fortpflanzung der Rotatorien. Sie sind größtenteils getrenntgeschlechtlich. Man unterscheidet normalerweise zwei verschiedene Weibchenformen und zwar die amiktischen und die miktischen, die aber anatomisch völlig gleich sind und nur durch ihre Eier unterschieden werden können. Die miktischen Weibchen bringen nach der Befruchtung durch Männchen, welche bei den Rädertieren sehr klein sind, große Eier hervor, aus denen Weibchen schlüpfen, ohne Befruchtung dagegen die sehr viel kleineren Männcheier. Die großen Eier werden Dauereier genannt, da sie dank einer festen Umhüllung längere Zeit auch unter unwirtlichen Außenbedingungen der Natur lebensfähig bleiben. Die Weibchen, welche aus diesen Eiern schlüpfen, sind die amiktischen, die sich durch Parthenogenese oder Jungfernzeugung fortpflanzen und nur Weibchen, überwiegend amiktische, aus ihren dünnchaligen Subitan- oder Sommereiern hervorbringen.

Die von mir gezüchteten Rotatorien *Brachionus angularis* Gosse und *Brachionus rubens* Ehrenberg gehören nach KÄSTNER (1954) zu der Ordnung

Monogononta und der Familie der Brachionidae. Die zweite Form wird erst seit 1954 nach DONNER nicht mehr als eine Varietät, *Brachionus urceus* Linné var. *rubens* Ehrbg. von *Brachionus urceolaris* Müller = *Brachionus urceus* (L.), sondern als eine eigene Art angesehen.

III. Material und Methodik

A) Material und Methodik der Untersuchungen am Vorfluter

1. *Donau bei Kelheim*

Die biologischen und chemischen Untersuchungen an diesem Vorfluter sind im Abwasserband der Süddeutschen Zellwolle AG durchgeführt worden, und zwar in einer Entfernung von 150, 300, 500 und 800 m nach der Einleitung des Abwassers, 20 bis 40 cm unter der Wasseroberfläche. Die Vergleichsproben des vom Abwasser unbeeinflussten Donauwassers habe ich 200 m flußaufwärts vom Abwassereinlauf entnommen.

Zur quantitativen biologischen Untersuchung der Wasserproben ist ein Planktonnetz mit Müllergaze Nr. 25 benutzt worden. Zur Anreicherung habe ich 100 l Flußwasser filtriert und alle gefundenen Organismen anschließend mit einer Planktonkammer von 1 cm³ Inhalt ausgezählt.

Die chemischen Probenuntersuchungen, wobei besonderer Wert auf die Bestimmung der Sulfate und Chloride, ferner des *pH*-Wertes und der Gesamthärte gelegt worden ist, habe ich nach folgenden Vorschriften ausgeführt:

„Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung“ von HAASE (1954):

Sulfatbestimmung siehe D 15, gravimetrisches Verfahren,

Chloridbestimmung siehe D 1,

pH-Wertbestimmung siehe C5, kolometrisches Verfahren mit Spezial-Indikatorpapier Merck, Darmstadt.

Für die Gesamthärtebestimmung sind Titriplexlösung B und Indikator-Puffertabletten Merck, Darmstadt, Methode nach G. SCHWARZENBACH und Mitarbeiter, benutzt worden.

2. *Main bei Obernburg*

An diesem Vorfluter habe ich die Proben für die biologischen und chemischen Untersuchungen im Abwasserband der Vereinigten Glanzstoff-Fabriken AG entnommen, und zwar 150, 300, 500, 800 und 1500 m nach dem Einlauf des Abwassers und 400 m flußaufwärts davon. Die Bestimmung des *pH*-Wertes ist dabei nicht mit Spezial-Indikatorpapier Merck, Darmstadt, sondern mit dem flüssigen Universalindikator derselben Firma ausgeführt worden.

Während der Mainuntersuchung im Sommer 1955 habe ich die Anzahl der Probeentnahmestellen nach der Abwassereinleitung noch weiter vergrößert,

und zwar auf 5, 15, 25, 100, 500 und 1500 m für die chemischen Untersuchungen, um eine genauere Übersicht in die Verteilung des Glaubersalzes im Flußwasser zu bekommen. Aus demselben Grund sind neben den Untersuchungen direkt im Abwasserband auch weitere über die ganze Breite des Mains im Gebiet der Probeentnahmepunkte durchgeführt worden. Die Proben für die chemischen Untersuchungen direkt im Abwasserband habe ich für jede Probeentnahmestelle nach dem Abwassereinlauf drei Tage lang von 6 bis 18 Uhr alle zwei Stunden entnommen, das vom Abwasser unbeeinflusste Mainwasser dagegen ist nur einmal am Tage, und zwar morgens, untersucht worden, da hier keine größeren Schwankungen der Werte zu erwarten gewesen sind. Die Sulfatbestimmung ist im Rahmen dieser Reihenuntersuchungen photometrisch gemacht worden und die Bestimmung des pH -Wertes elektrometrisch. Ferner habe ich noch die Acidität mit Methylorange als Indikator nach dem Einheitsverfahren H 7/8 II bestimmt und daraus die Karbonathärte errechnet. Die biologischen Untersuchungen sind jetzt nur auf die quantitative und qualitative Bestimmung der Rotatorien beschränkt und die Proben 25, 100, 500 und 1500 m nach der Einleitung des Abwassers entnommen worden.

B) Material und Methodik der Untersuchungen im Laboratorium

1. Rotatorien

Als Versuchstiere habe ich die Rädertiere *Brachionus angularis* und *Brachionus rubens* verwendet, obwohl sie quantitativ nicht sehr oft gefunden worden sind. Ihre Zucht ist aber unter den gewünschten Bedingungen ohne Schwierigkeiten durchführbar gewesen.

Bei der Durchführung der Rotatorienversuche habe ich großen Wert darauf gelegt, daß die Laborverhältnisse so weit als möglich den Freilandbedingungen angepaßt worden sind unter Berücksichtigung der besonders genau untersuchten Verhältnisse am Main. Dadurch wollte ich erreichen, daß die Ergebnisse der Laboratoriumsversuche auch für natürliche Verhältnisse Gültigkeit besitzen.

Ich habe deshalb als Kulturwasser für meine Versuche nicht normales Leitungswasser verwendet, sondern „künstliches Mainwasser“. Dieses ist aus doppelt destilliertem Wasser und Gesamtabdampfdruckstand vom Main, letzterer mittels einer Vakuumdestillation, hergestellt worden. Zur Lösung des Gesamtabdampfdruckstandes, abgesehen natürlich von den unlöslichen Substanzen, ist drei Stunden lang aus einer Kohlensäurebombe CO_2 in das doppelt destillierte Wasser eingeleitet worden. Nach Ablauf von zwölf weiteren Stunden ist der Lösungsvorgang beendet gewesen. Nach anschließender kurzer Belüftung mit reinem Sauerstoff habe ich dann einen pH -Wert von ungefähr 8 gemessen, und zwar wieder elektrometrisch, und Sauerstoffwerte nahe der Sättigungsgrenze, was den Verhältnissen im Main bei Obernburg entsprochen

hat. Für meine Untersuchungsreihen ist vom Abwasser unbeeinflusstes Mainwasser mit einem Gesamtabdampfdruckstand von 344,7 mg/l benutzt worden.

Die Temperatur für die Rädertierversuche habe ich ebenfalls unter Anpassung an die natürlichen Bedingungen zwischen 16 und 18°C gehalten.

Zur Fütterung der Rotatorien ist von mir auf Grund eines dankenswerten Ratschlages von Herrn Dr. F. RAUH, München, die Grünalge *Chlorella pyrenoidosa* verwendet worden, welche ich in zentrifugierter Form verabreicht habe. Als Versuchsschalen sind sogenannte Boverischalen benutzt worden mit 2 cm³ Versuchslösung für *Br. rubens*, die größere Form, und auf 1,5 cm Höhe verkürzte Tablettenröhrchen mit einem Durchmesser von 2 cm und einem Inhalt von 1 cm³ Versuchslösung für *Br. angularis*, die kleinere Form. Die Tiere habe ich normalerweise täglich einmal mit frischem Kulturmedium und Futter versorgt. Ihre Umsetzung aus einer Versuchsschale mit altem Kulturmedium in neues ist unter einer binokularen Lupe von Leitz mit Hilfe einer Kapillarpipette durchgeführt worden. Dabei habe ich die einzelnen Individuen genau beobachtet.

Die eigentlichen Zucht der Rädertiere ist unter denselben Bedingungen wie die Versuche durchgeführt worden.

Zur Untersuchung habe ich dem Kulturwasser folgende Chemikalien zugesetzt: analysenreines Natriumsulfat und technisches Glaubersalz, wie es bei der Produktion der Vereinigten Glanzstoff-Fabriken Obernburg anfällt, ferner Schwefelsäure und Zinksulfat, die Verunreinigungen des technischen Glaubersalzes. Die verschiedenen Versuchskonzentrationen sind aus den entsprechenden Kapiteln meiner Arbeit zu ersehen.

Als Beispiel für die Auswertung der Versuchsergebnisse führe ich Tabelle 2 an. Es handelt sich dabei um die Ergebnisse der Wirkung vom Abwasser unbeeinflusteten Mainwassers auf *Br. angularis* ohne Zusatz von Chemikalien, also um einen sogenannten Kontrollversuch, wie er für jede meiner Versuchsreihen durchgeführt worden ist, um zwischen der natürlichen Entwicklung der Testtiere unter normalen Verhältnissen gegenüber der unnatürlichen auf Grund der Zusätze von chemischen Verbindungen zu dem Kulturwasser unterscheiden zu können. Aus Tabelle 2 ist nun folgendes ersichtlich:

- a) Die Versuchsdauer hat im Durchschnitt elf Tage betragen. Bei höher konzentrierten Versuchslösungen ist sie dagegen entsprechend kürzer gewesen. Die Umsetzung und Beobachtung der Organismen ist dann nicht einmal am Tage, sondern alle zwölf oder sechs Stunden durchgeführt worden.
- b) Die absolute Zahl der lebenden Tiere habe ich durch genaues Auszählen der Organismen festgestellt.
- c) Der gesamte Vermehrungsquotient gibt die absolute Zahl der lebenden Tiere prozentual an.

- d) Die Werte der toten Weibchen beginnen mit einem Ungültigkeitszeichen, da erst 24 Stunden nach dem Einsetzen der Versuchstiere, also am 2. Tag, die Auszählung derselben eingesetzt hat.
- e) Bei den Zahlen der amiktischen Weibchen ist der erste Wert bei der Mittelwertsrechnung nicht berücksichtigt und daher eingeklammert worden, da es sich dabei um die Angabe der in jedem Versuch eingesetzten Testtiere von 30 amiktischen Weibchen handelt. Ich habe deshalb eiertragende Tiere verwendet, um eine Gewähr für ihre Gesundheit zu haben. Durchschnittlich ist von den amiktischen Weibchen ein Subitanei getragen worden, und die entsprechenden Jungtiere sind innerhalb von 24 Stunden, also von einem Versuchstag zum anderen, geschlüpft. Die wenigen Dauereier, die ich beobachtet habe, sind bei der Auswertung der Versuche nicht berücksichtigt worden, da sie zur Reifung länger als 24 Stunden benötigen.
- f) Die Werte der miktischen Weibchen und der lebenden Männchen beginnen erst am 3. bzw. 4. Versuchstage, da bei der Einsetzung von amiktischen Weibchen am 1. Tage die Ausbildung der miktischen und der lebenden Männchen drei bzw. vier Tage gebraucht hat.

Tabelle 2
Kontrollversuch für *Br. angularis*

Versuchsdauer in Tagen	absolute Zahl der lebenden Tiere	gesamter Vermehrungsquotient in %	tote Weibchen in %	amiktische Weibchen in %	miktische Weibchen in %	lebende Männchen in %	täglicher Vermehrungsquotient in %
1.	30	100	—	(100)	—	—	(0)
2.	58	193	0	19	—	—	(+93)
3.	69	230	0	16	0	—	+19
4.	84	280	1	21	2	0	+22
5.	108	360	0	9	1	3	+29
6.	116	387	1	14	1	0	+7
7.	130	434	4	25	2	2	+12
8.	174	580	1	28	1	2	+34
9.	226	754	1	20	0	0	+29
10.	274	913	1	18	0	0	+21
11.	332	1106	1	17	1	0	+21
Mittel	—	—	1	19	1	1	22

- g) Der tägliche Vermehrungsquotient gibt die Vermehrung der Organismen von einem Tage zum anderen an und ist wie folgt errechnet worden:

$$58:100 = 11:x,$$

$$x = 19;$$

wobei 11 die Differenz zwischen der Anzahl der lebenden Tiere am Vortage und derjenigen des Versuchstages bedeutet.

Ist der tägliche Vermehrungsquotient mit einem positiven Vorzeichen versehen, so steigt die Zahl der Testtiere, im anderen Fall sinkt sie. Die eingeklammerten Werte sind aus verständlichen Gründen bei der Mittelwertberechnung unberücksichtigt geblieben. Alle Werte bis auf die absoluten Zahlen der lebenden Tiere und die entsprechenden Prozentangaben konnten gemittelt werden.

2. Algen

Die Zucht von *Chlorella pyrenoidosa* habe ich als Flüssigkeitskultur in einer Gaswaschflasche von 250 cm³ Inhalt durchgeführt. Für die Nährlösung ist auch hier wieder doppelt destilliertes Wasser verwendet worden, dem ich nach Angabe von Herrn Privatdozent Dr. habil. O. KANDLER, wiss. Assistent am Botanischen Institut der Universität München, dem ich auch die erste Reinkultur dieser Grünalge verdanke, folgende Salze je Liter Wasser hinzugefügt habe: 100 mg KCl, 100 mg KH₂PO₄, 400 mg KNO₃, 100 mg Ca(NO₃)₂ und 100 mg MgSO₄, außerdem noch 0,5 cm³ der sogenannten A-Z-Lösung nach HOAGLAND, um die Spurenelemente zu berücksichtigen. Die Temperatur für die Zucht habe ich mit Hilfe eines Wassermantels um das Kulturgefäß in Form eines wassergefüllten Bassins auf 18°C gehalten. Um das Wachstum zu fördern, ist ferner eine Belichtung der Algen mit einer normalen Lampe durchgeführt worden. In größeren Abständen ist die Flüssigkeitskultur durch Beimpfung mit Reinzuchten von *Chlorella pyrenoidosa* auf zweiprozentigen Agar-Agar mit der eben erwähnten anorganischen Nährlösung aufgefrischt worden.

IV. Eigene Ergebnisse

A) Untersuchungen am Vorfluter

1. Untersuchung an einem ungestauten Flußsystem (Donau bei Kelheim)

Die Wirkung der Abwässer der Süddeutschen Zellwolle AG, Kelheim a. d. Donau, auf Wasserorganismen konnte nicht einwandfrei festgestellt werden, da die Donau an dieser Stelle noch durch die Abwässer von zwei anderen Industriebetrieben belastet wird.

Die Wasserproben dieses Vorfluters im Abwasserbereich des Werkes Kelheim zeigen im Gegensatz zu der von diesem Abwasser unbeeinflussten Donau keinen wesentlichen Unterschied in der chemischen Beschaffenheit. Allerdings steigt der Gehalt an Sulfat von 32 mg/l 200 m vor dem Abwassereinlauf auf 40 mg/l 150 m danach, ist aber 500 m weiter flußabwärts mit 32 mg/l schon wieder normal. Die Unwirksamkeit des Abwassers wird außerdem bewiesen durch die gleichbleibenden Werte des Chloridgehaltes (7 bis 10 mg/l) als Zeichen der Vorfluterverunreinigung durch Salz, der *pH*-Werte (6,6 bis 7,0) und der Gesamthärte (12,7 bis 13,1 in deutschen Härtegraden) auf einer Strecke von 200 m vor dem Einlauf des Abwassers bis 800 m danach bei einer Wasserführung von nahezu Mittelwasser im August 1954.

Die biologischen Untersuchungsbefunde des Planktons zeigen eine gute Übereinstimmung mit den chemischen, da keine augenscheinliche Veränderung in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft der Wasserorganismen im Abwasserbereich der Süddeutschen Zellwolle AG im Gegensatz zu dem von diesem Abwasser unbeeinflussten Vorfluter aufgetreten ist; selbst dann nicht, wenn man wegen der geringen Individuenzahl der meisten Arten ganze Organismengruppen herausgreift, wie die Kieselalgen und Rotatorien, und ihre Gesamtzahl je Probenentnahmestelle vor und nach dem Abwassereinlauf miteinander vergleicht:

Tabelle 3

Organismen	vor	nach dem Abwassereinlauf			
	200 m	150 m	300 m	500 m	800 m
Gesamtzahl der Kieselalgen	395	357	473	608	400
Gesamtzahl der Rotatorien	0,2	0,3	0,3	0,6	0,3

2. Untersuchung an einem gestauten Flußsystem

a) Erste Mainuntersuchung bei Obernburg

Die Frage hinsichtlich einer schädlichen Wirkung der Abwässer der Viskoseindustrie auf Wasserorganismen hat hier eine eindeutige Beantwortung erfahren, da der Main als Vorfluter der Vereinigten Glanzstoff-Fabriken AG, Obernburg, in größerer Entfernung sowohl stromaufwärts als auch -abwärts allein durch die Abwässer derselben belastet wird.

Die chemischen Untersuchungsergebnisse der Wasserproben weisen eine große Ähnlichkeit mit denjenigen der Donau bei Kelheim auf: der Chloridgehalt beträgt ungefähr 4 mg/l, die *pH*-Werte liegen zwischen 7,3 und 7,8 und für die Gesamthärte sind 13,8 bis 14,2 dH gemessen worden, und zwar auf einer Strecke von 400 m vor der Einleitung des Abwassers bis 1500 m danach. Die Sulfatmengen sind allerdings wesentlich höher und erreichen erst weiter flußabwärts Werte, die denen des Mainwassers oberhalb des Abwassereinlaufs entsprechen. 400 m vor dem Einlauf des Abwassers beträgt nämlich der Sulfatgehalt 95 mg/l, 150 m danach 163 mg/l und wird erst 1500 m flußabwärts wieder nahezu normal. Das ist u. a. auf die geringere Verdünnung des Abwassers durch den Main zurückzuführen, die für die Zone der stärksten Verschmutzung, 150 m nach der Abwassereinleitung, mit 1:43 gegenüber 1:108 für die Donau errechnet worden ist. Der Main führte während der Probenentnahmen im September 1954 Mittelwasser.

Die biologischen Untersuchungsergebnisse bestätigen diejenigen von der Donau bei Kelheim, denn auch hier zeigen sich in der Abwasserzone keine charakteristischen Veränderungen der Arten- und Individuenzahlen für das Plankton, sondern die Werte schwanken ziemlich unregelmäßig.

b) Zweite Mainuntersuchung bei Obernburg

Die zweite Mainuntersuchung von Juli bis August 1955 ist einmal durchgeführt worden, um die vorjährigen Beobachtungen zu kontrollieren, zum anderen aber auch, um die chemischen und biologischen Vorgänge in diesem Vorfluter noch genauer zu erfassen.

Der mengenmäßig bei weitem überwiegende Bestandteil des Abwassers des Werkes Obernburg ist nach einer Abwasseranalyse des 3. Quartals 1955 das Sulfat mit 3740 mg $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$. Aber auch der Gehalt an freier Schwefelsäure mit

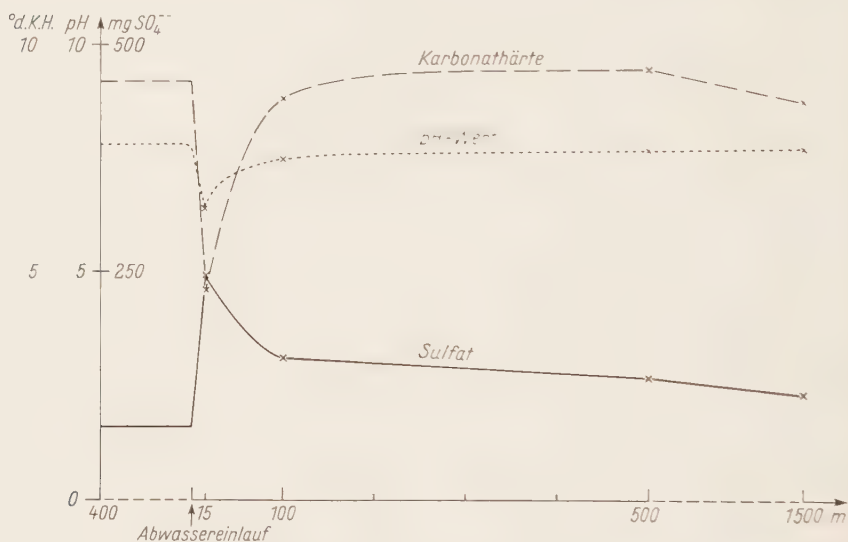


Abb. 6. Sulfat-, Karbonathärte und pH-Werte im Main bei Obernburg (Mittelwerte).

1,13 g/l und der damit verbundene hohe pH -Wert von 1,9 dürfen nicht übersehen werden. Bei meinen chemischen Untersuchungen habe ich darum besonders diese drei Faktoren berücksichtigt, außerdem noch die Karbonathärte des Mains.

Die graphische Darstellung Abb. 6 gibt die Sulfat- und Karbonathärtemessungen und die pH -Werte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Abwassereinlauf wieder; 15 m nach der Einleitung des Abwassers in den Main ist der Sulfatgehalt natürlich am höchsten und die Messung für die Karbonathärte und den pH -Wert bedingt durch die Einwirkung der freien Schwefelsäure am niedrigsten. Ungefähr 100 m weiter flussabwärts sind aber diese chemischen Werte bereits wieder mit denjenigen des vom Abwasser unbeeinflussten Mainwassers zu vergleichen. Das gilt besonders für den pH -Wert des Vorfluters, obwohl das Abwasser selbst einen pH -Wert von 1,9 aufweist. Die natürliche Karbonat-

härte des Mains von ungefähr 9,2⁰ deutsche Karbonathärte reicht aber zu einer schnellen Neutralisation der Säure des Abwassers nach folgendem Schema aus:



Infolgedessen ist im Vorfluter selbst nur ganz vereinzelt und in unmittelbarer Nähe des Abwassereinlaufs freie Schwefelsäure nachgewiesen worden. Der Sulfatgehalt normalisiert sich dagegen langsamer, und zwar nur durch Verdünnung.

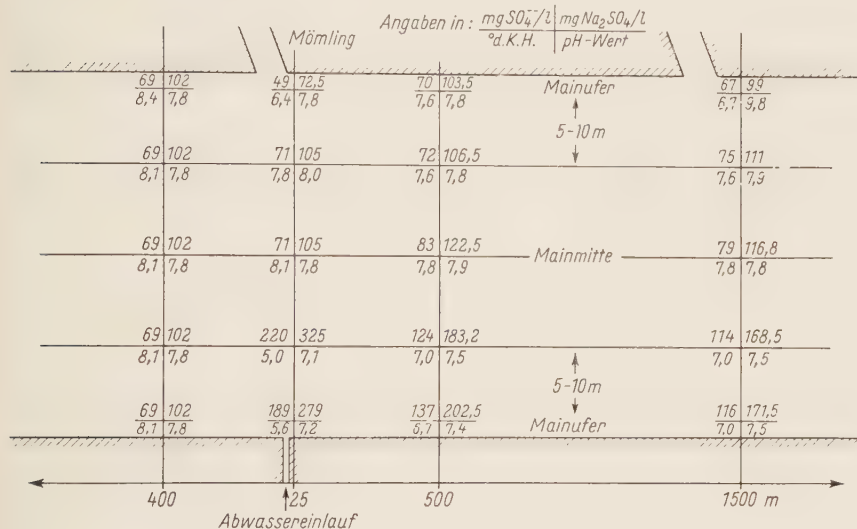


Abb. 7. Sulfat-, Karbonat- und pH-Messungen im Querschnitt des Mains bei Obernburg.

Die Mainuntersuchung über die gesamte Breite des Flusses, nicht nur im Abwasserband, habe ich ebenfalls in einer Entfernung von 400 m vor der Einleitung des Abwassers bis 1500 m danach durchgeführt. Dabei sind wiederum der Sulfatgehalt, die Karbonathärte und der pH-Wert bestimmt worden. Die Ergebnisse, welche aus der obigen Skizze Abb. 7 ersichtlich sind, beweisen, daß die Abwässer des Werkes Obernburg ein zusammenhängendes Abwasserband bilden, und zwar am rechten Ufer flußabwärts, denn die Flußmitte und das linke Ufer bleiben vom Abwasser vollkommen verschont. Damit verliert die Frage nach der Schädigung des Mains durch dieses Abwasser weiterhin an Bedeutung. Die Untersuchung rechtfertigt außerdem die Entnahme der Proben direkt aus dem Abwasserband.

Bei den biologischen Proben habe ich mich nur auf die quantitative und qualitative Feststellung der Rotatorien beschränkt (Tab. 4).

Tabelle 4

Die Rotatorien der zweiten Mainuntersuchung

Organismen (Mengenangabe je Liter)	vor		nach dem Abwassereinlauf			
	400 m	25 m	300 m	500 m	1500 m	
Brachionus angularis Gosse (Brachionus angularis Gosse)	1	1	0,3	1	1	
Brachionus calyciflorus Pallas (Brachionus pala Ehrenberg)	—	—	—	—	0,1	
Brachionus capsuliflorus Pallas (Brachionus bakeri O. F. Müller)	0,1	—	—	—	0,1	
Brachionus urceolaris Müller = Br. urceus (L.) (Brachionus urceolaris O. F. Müller)	1	0,1	0,1	0,2	0,1	
Keratella cochlearis (Gosse) (Anuraea cochlearis Gosse)	2	1	2	3	3	
Keratella quadrata (Müller) (Anuraea aculeata Ehrenberg)	1	0,2	1	0,2	1	
Polyarthra trigla Ehrenberg (Polyarthra platyptera Ehrenberg)	0,1	0,1	0,3	—	1	
Rotaria neptunia (Ehrenberg) (Rotifer neptunius (Ehrenberg))	—	—	—	—	0,1	
Rotaria tardigrada (Ehrenberg) (Rotifer tardigradus Ehrenberg)	0,3	0,3	0,1	1	0,4	
Synchaeta spec. Ehrenberg (Synchaeta spec. Ehrenberg)	1	0,4	1	1	1	
Gesamtzahl der Organismen je Probeentnahmestelle	6,5	3,1	4,8	6,5	7,8	

In Anbetracht der niederen Arten- und Individuenzahlen der im Abwasserband des Mains gefundenen Rädertiere ist es auch hier schwer, ein endgültiges Urteil über die Wirkung der Abwässer des Werkes Obernburg auf jene Organismen abzugeben. Das vorliegende Zahlenmaterial zeigt allerdings, besonders wenn man die Gesamtzahlen der Rotatorien je Probeentnahmestelle betrachtet, daß kein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der Arten- und Individuenzahlen vor und nach dem Abwassereinlauf besteht.

B) Untersuchungen im Laboratorium

1. Die Wirkung von analysenreinem Natriumsulfat und technischem Glaubersalz auf Rotatorien

Die Ergebnisse der mit analysenreinem Natriumsulfat und technischem Glaubersalz durchgeführten Versuche hinsichtlich der Wirkung auf Br. angularis gehen aus Tabelle 5 hervor.

Das Natriumsulfat habe ich dem Kulturwasser in Mengen von 0,889 g/l entsprechend 0,600 g $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$ bis 8,150 g/l entsprechend 5,500 g $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$ zugesetzt. Die Versuche sind erst deshalb bei einem Gehalt der Versuchslösungen von 0,600 g $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$ begonnen worden, weil bei dem höchsten im Main gefundenen Sulfatwert von etwa 0,400 g $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$ 5 m nach der Abwasser-einleitung noch keine Schädigung der Wasserorganismen, speziell der Rotatorien, feststellbar gewesen ist. Und der Gehalt des Natriumsulfats hat aus dem Grund nicht mehr als 8,150 g/l betragen, weil bei höheren Konzentrationen die Todeszeit der Tiere nicht mehr genau festgestellt werden konnte. Die Menge des zugesetzten Salzes habe ich bei niederen Konzentrationen in Abständen von 0,200 g $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$ und bei höheren von 0,100 g $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$ allmählich erhöht und auf den entsprechenden Sulfatwert deshalb umgerechnet, weil auf diese Weise die Laborversuche unmittelbar mit den Freilanduntersuchungen verglichen werden konnten. Aus der Vielzahl der Versuche habe ich zur näheren Erläuterung im Rahmen meiner Arbeit nur einige besonders charakteristische ausgewählt. Der Gehalt an Na_2SO_4 ist bei den verschiedenen Kon-

Tabelle 5

Die Wirkung von analysenreinem Na_2SO_4 (a)
im Vergleich zu technischem $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (b) auf *Br. angularis*
(Mittelwerte)

Gehalt an analysenreinem Na_2SO_4 (a) und technischem $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (b) in g/l	Versuchsdauer in Tagen	absolute Zahl der lebenden Tiere nach dem Versuch	gesamter Vermehrungsquotient in % nach dem Versuch	tote Weibchen in %	amiktische Weibchen in %	miktische Weibchen in %	lebend. Männchen in %	täglicher Vermehrungsquotient in %
Kontrolle a	11	332	1106	1	19	1	1	+22
b	11	325	1083	1	20	0	0	+21
0,889 a	11	388	1293	2	24	1	1	+25
2,110 b	7	0	0	66	16	0	0	-67
2,070 a	11	245	816	4	26	2	3	+21
4,910 b	5	0	0	82	7	0	0	-83
2,960 a	11	9	30	26	26	0	0	-8
7,025 b	4	0	0	81	4	0	—	-82
4,440 a	3	0	0	90	0	—	—	-89
10,550 b		innerhalb von 24 Stunden sind alle Versuchstiere tot						
6,220 a		„	36			„		
14,740 b		„	24			„		
7,700 a		„	24			„		
18,270 b		„	24			„		
8,150 a		„	12			„		
19,320 b		„	12			„		

zentrationen für beide Versuchsreihen, also auch für diejenige mit technischem Glaubersalz, derselbe gewesen.

Bei den Kontrollversuchen habe ich in jedem Fall keinen schädlichen Einfluß auf die Testtiere festgestellt, denn die Anzahl der lebenden Tiere ist nach einer Versuchsdauer von elf Tagen sehr hoch. Ebenso verhält es sich mit den Werten für die lebenden amiktischen Weibchen und damit auch für den gesamten und den täglichen Vermehrungsquotienten. Die Prozentsätze der toten Weibchen sind dagegen sehr niedrig. Dieses Ergebnis ist zu erwarten gewesen, denn ich habe beide Kontrollversuche mit Mainwasser ohne Salzzusatz, also unschädlichem Kulturwasser, durchgeführt.

Bei einem Gehalt von 0,889 g Na_2SO_4 /l wird sehr deutlich ersichtlich, daß die Ergebnisse des Versuches b, wobei dem Kulturwasser technisches Glaubersalz zugesetzt worden ist, sehr viel ungünstiger sind als bei dem Versuch a mit analysenreinem Natriumsulfat. Alle Tiere sind jetzt schon nach sieben Tagen tot. Außerdem ist auch der Prozentsatz der toten Weibchen sehr hoch und derjenige für die amiktischen niedriger. Demzufolge wird der tägliche Vermehrungsquotient sehr negativ, d. h. also, die Zahl der lebenden Tiere nimmt laufend sehr schnell ab. Ferner ist eine Verzögerung des Schlüpfvorganges der amiktischen Eier wahrnehmbar. Die Differenz zwischen den Mittelwerten für die toten und die amiktischen Weibchen muß theoretisch mit dem gemittelten Wert des täglichen Vermehrungsquotienten übereinstimmen. Das ist hier nicht der Fall, weil durch die Salzwirkung bei dieser Konzentration einmal eine Verzögerung des Schlüpfvorganges der amiktischen Eier stattfindet, d. h. die Eier eines amiktischen Weibchens brauchen zur Reifung länger als 24 Stunden, zum anderen die Zahl der auf den Boden der Kulturschale abgelegten amiktischen Eier steigt. Diese Eier sterben ab und ergeben keine lebenden Nachkommen.

Bei einem Gehalt von 2,070 und 2,960 g Na_2SO_4 /l prägen sich bei den Versuchen der Reihe b mit technischem Glaubersalz die gleichen, eben festgestellten Schädigungen der Versuchstiere noch stärker aus. Die Tiere sterben auf Grund der erheblichen Schadwirkung der technischen Verbindung sehr schnell, was aus den immer kürzer werdenden Versuchszeiten bis zum Tod aller Tiere hervorgeht. Eine Beeinflussung der Testtiere durch das analysenreine Natriumsulfat macht sich dagegen bei weitem nicht so deutlich bemerkbar.

Das eben Gesagte gilt auch für die Versuche mit 4,400 und 6,200 g Na_2SO_4 /l.

Dagegen ist sowohl bei einem Gehalt von 7,700 als auch 8,150 g Na_2SO_4 je Liter Versuchslösung kein Unterschied mehr in der Wirkung der beiden Salze auf die Versuchstiere festzustellen. Sie sterben nach 24 bzw. 12 Stunden, da das analysenreine Natriumsulfat wie auch die technische Verbindung bei diesen hohen Konzentrationen allmählich die gleiche Schadwirkung besitzen.

Die Beobachtung, daß technisches Glaubersalz eine sehr viel ungünstigere Wirkung auf *Br. angularis* ausübt als analysenreines Natriumsulfat, habe ich bei entsprechenden Versuchen mit *Br. rubens* bestätigt gefunden (Tab. 6).

Tabelle 6

Die Wirkung von analysenreinem Na_2SO_4 (a)
im Vergleich zu technischem $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (b) auf *Br. rubens*
(Mittelwerte)

Gehalt an analysenreinem Na_2SO_4 (a) und technischem $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (b) in g/l	Versuchsdauer in Tagen	absolute Zahl der lebenden Tiere nach dem Versuch	gesamter Vermehrungsquotient in % nach dem Versuch	tote Weibchen in %	amiktische Weibchen in %	miktische Weibchen in %	lebend. Männchen in %	täglicher Vermehrungsquotient in %
Kontrolle a	11	310	1032	1	20	1	1	+21
b	11	309	1030	6	25	1	1	+21
0,899 a	11	149	496	11	20	0	0	+11
2,110 b	6	0	0	77	7	0	0	-75
2,070 a	11	38	123	20	17	0	0	-5
4,910 b	3	0	0	84	0	—	—	-86
2,960 a	11	18	60	25	17	0	0	-11
7,025 b	3	0	0	83	0	—	—	-87
4,440 a	5	0	0	56	0	0	0	-61
10,550 b		innerhalb von 36 Stunden sind alle Versuchstiere tot						
6,220 a	4	0	0	81	0	0	—	-70
14,740 b		innerhalb von 24 Stunden sind alle Versuchstiere tot						
7,700 a		„	48		„			
18,270 b		„	12		„			
8,150 a		„	24		„			
19,320 b		„	12		„			

Der Grund für die stärkere Schädigung des technischen Glaubersalzes auf die beiden Brachionidenarten im Gegensatz zu der schwächeren des analysenreinen Natriumsulfates ist aus der Analyse des ersteren mit folgenden Durchschnittswerten ersichtlich:

95,3% $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
 0,5 % H_2SO_4
 0,18% ZnSO_4
 4,02% H_2O .

Als sogenannte Verunreinigungen der technischen Verbindung treten dabei Schwefelsäure und Zinksulfat auf. Und auf ihren Einfluß muß die stärkere Schädigung des technischen Glaubersalzes auf die beiden Versuchstierarten zurückgeführt werden. Wenn die Verunreinigungen auch nur in geringen Mengen vorhanden sind, so ist doch ihre Giftigkeit, besonders die des Zinks, sehr groß.

b) ZnSO_4

61,900 mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

Die Wirkung von technischem $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (a)
im Vergleich zu analysenreinem $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (b) auf Br. rubens
(Mittelwerte)

Gehalt an tech nischem Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O (a) und analysen- reinem ZnSO ₄ · 7 H ₂ O (b)	Versuchs- dauer in Tagen	absolute Zahl der lebenden Tiere nach dem Versuch	gesamter Vermeh- rungsquo- tient in % nach dem Versuch	tote Weib- chen in %	amiktische Weib- chen in %	miktische Weib- chen in %	lebend. Männ- chen in %	täglicher Vermeh- rungs- quotient in %
Kontrolle a	II	309	1030	6	25	I	I	+21
b	II	290	966	7	25	I	I	+20
2,110 g/l a	6	o	o	77	7	o	o	-75
6,760 mg/l b	6	o	o	73	9	o	o	-72
7,025 g/l a	3	o	o	83	o	—	—	-87
22,500 mg/l b	3	o	o	82	o	—	—	-85
19,320 g/l a								
34,750 mg/l b								

innerhalb von 12 Stunden sind alle Versuchstiere tot

„ 12 „

Die entsprechenden Versuchsergebnisse zeigt Tabelle 8. Die beiden Kontrollversuche weisen wieder die zu erwartende gute Übereinstimmung aller Werte auf. Diese Übereinstimmung finden wir aber auch bei einem Vergleich der nächsten beiden Versuche. Gleichgültig, ob die Versuchslösung 2,110 g techn. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}/\text{l}$ oder 6,760 mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}/\text{l}$ enthält, immer zeigt sich die gleich starke Schadwirkung auf die Testtiere. Das trifft auch für die übrigen Versuche zu.

Daraus ergibt sich, daß das Zinksulfat als Ursache für die unterschiedliche Schadwirkung von analysenreinem Natriumsulfat und technischem Glaubersalz auf meine Versuchstiere anzusehen ist. Damit ist wieder einmal bewiesen, daß das Kation dieses Schwermetallsalzes schon in Spuren auf Lebewesen stark giftig wirkt.

3. Die Grenzen der Schädlichkeit für *Brachionus angularis* und *Brachionus rubens* bei Einwirkung von analysenreinem Natriumsulfat, technischem Glaubersalz und Zinksulfat

Die folgende graphische Darstellung gibt zum Abschluß meiner Untersuchungen die Abhängigkeit des täglichen Vermehrungsquotienten als Charakteristikum des Gesundheitszustandes der Versuchstiere von der Menge der in ihrer Wirkung auf diese zu prüfenden Chemikalien wieder (Abb. 8). Es sind dafür folgende Versuchsreihen ausgewählt worden: analysenreines Natriumsulfat und *Br. angularis* bzw. *Br. rubens* (Tabelle 5, Versuchsreihe a und Tabelle 6, Versuchsreihe a), technisches Glaubersalz und *Br. angularis* bzw. *Br. rubens* (Tabelle 5, Versuchsreihe b und Tabelle 6, Versuchsreihe b) und Zinksulfat

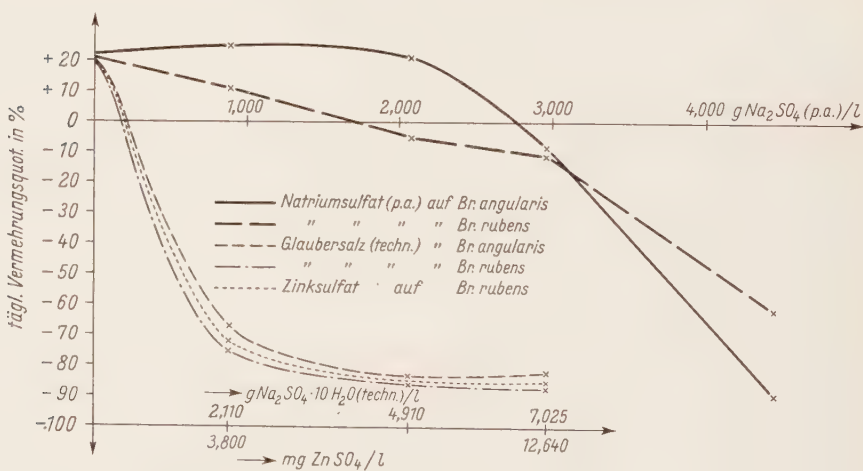


Abb. 8. Die Wirkung von Natriumsulfat (p. a.) und Glaubersalz (techn.) auf *Br. angularis* und *Br. rubens* sowie von Zinksulfat auf *Br. rubens*.

fat und *Br. rubens* (Tabelle 8, Versuchsreihe b). Die Kurven, welche den Einfluß des analysenreinen Salzes auf *Br. angularis* und *Br. rubens* veranschaulichen und die ziemlich parallel verlaufen, lassen eine ähnliche Wirkung dieser Verbindung auf die beiden Testtierformen erkennen. Die beiden Kurven, welche den Einfluß des technischen Salzes auf *Br. angularis* und *Br. rubens* zeigen, veranschaulichen, daß beide Brachionidenarten auf die Einwirkung dieser technischen Verbindung ebenfalls übereinstimmend reagieren. Und die Kurve, welche die Wirkung von Zinksulfat auf *Br. rubens* wiedergibt, die nur weniger günstig ist als diejenige des technischen Glaubersalzes auf dieselbe Versuchstierform, macht anschaulich, daß dieses Zinksalz der entscheidende Faktor für den größeren schädlichen Einfluß der technischen Verbindung im Vergleich zu analysenreinem Natriumsulfat ist, wie ich schon in dem letzten Kapitel dargelegt habe, und was auch für *Br. angularis* angenommen werden kann.

Die eigentliche Bedeutung der dargestellten Kurven besteht aber darin, besonders für die Praxis von Vorfluterverunreinigungen durch technisches Glaubersalz und damit verbunden auch durch Zinksulfat, daß man genau ablesen kann, wie stark die Schädigung der beiden Brachionidenarten durch eine bestimmte Menge des analysenreinen Natriumsulfats bzw. der technischen Verbindung ist. Z.B. bewirkt der Einfluß von 0,527 g techn. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ l, welches etwa 1 mg ZnSO_4 /l enthält, beide Zahlenangaben sind an der Abszisse des Koordinatensystems abzulesen, daß der Prozentsatz des täglichen Vermehrungsquotienten von *Br. angularis* null beträgt, d. h. also, die Vermehrung der Tiere hat aufgehört. Bei größeren Mengen des technischen Glaubersalzes und damit auch des Zinksulfats wird die Gefahr für diese Organismen akut. Der Wert für den täglichen Vermehrungsquotienten ist dann nämlich negativ, d. h. also, die Zahl der Tiere nimmt ab und zwar um so schneller, je stärker negativ der Prozentsatz wird.

Die Toxizitätsgrenze, welche angibt, wie hoch die Dosierung bestimmter Chemikalien sein darf, ohne daß Schädigungen gewisser Organismen eintreten, habe ich bei der Einwirkung von analysenreinem Natriumsulfat auf *Br. angularis* bei 2,070 g/l oder 2,1⁰/₀₀ und auf *Br. rubens* bei ungefähr 0,889 g/l oder 0,9⁰/₀₀ festgestellt. Der Wert für den täglichen Vermehrungsquotienten als Charakteristikum des Gesundheitszustandes der Tiere verändert sich nämlich bis zu diesen Salzkonzentrationen nicht wesentlich gegenüber den entsprechenden Kontrollversuchen, wie aus der graphischen Darstellung ersichtlich ist. Die höchste, aber noch ohne Schaden für die Tiere selbst ertragbare Konzentration ist von analysenreinem Natriumsulfat für *Br. angularis* bei 2,760 g/l oder 2,8⁰/₀₀ und für *Br. rubens* bei 1,700 g/l oder 1,7⁰/₀₀ ermittelt worden, von technischem Glaubersalz für beide Versuchstierformen bei 0,527 g/l oder 0,5⁰/₀₀ und von Zinksulfat für *Br. rubens* und damit auch für *Br. angularis* bei etwa 1 mg/l. Die täglichen Vermehrungsquotienten sind dabei immer gleich null, d. h. also wie gesagt, daß wohl die Vermehrung der Tiere aufgehört hat, nicht aber die Produktion der Eier. Nur gelangen diese nicht mehr

zum Ausschlüpfen, sondern werden am Boden der Kulturschalen abgelegt, wo sie absterben. Bei den eben erwähnten höchsten, aber noch ohne Schaden für die Tiere selbst ertragbaren Salzkonzentrationen werden also nur die Eier der eingesetzten Versuchstiere geschädigt, nicht aber die Tiere selbst.

V. Diskussion

Im Rahmen meiner Freilanduntersuchungen über den Einfluß der Abwässer der Süddeutschen Zellwolle AG, Kelheim (Donau), auf Planktonorganismen im Bereich der von ihnen besonders durch Glaubersalz verschmutzten Vorfluterstrecke ist festgestellt worden, daß bei den derzeitigen Konzentrationsverhältnissen keine Schädigung derselben zu beobachten ist. Die gefundenen Arten- und Individuenzahlen bleiben bekanntlich sowohl flußaufwärts als auch -abwärts von dem Abwassereinlauf annähernd dieselben. Der Grund dafür, daß dieses Abwasser im Vorfluter keine Schäden verursacht, ist besonders in der großen Verdünnung desselben durch die Donau zu suchen. Die fehlenden Charakteristika eines versalzten Gewässers „wenige Arten, aber ein Massenvorkommen derselben“ nach BUDE (1931) bestätigen die Richtigkeit meiner Beobachtungen. Ebenso verhält es sich mit der Ansicht von AMMONS (1954), welcher genau wie ich keine Anreicherung der Mineralstoffe unterhalb der Abwassereinleitung des Werkes Kelheim gefunden hat. Beobachtete Schädigungen der Donau sind von dem gleichen Autor auf fäulnisfähige Stoffe zurückgeführt, aber den anorganischen Salzen in diesem Zusammenhang auch keine große Bedeutung für die Wasserorganismen beigemessen worden. LIEBMANN (1954) hat dagegen die von ihm festgestellte biologische Schädigung der Donau nicht nur auf die Wirkung der organischen Abwässer der Sulfitzellulosefabrik Kelheim zurückgeführt. Auch die überwiegend anorganischen Abwässer der Süddeutschen Zellwolle AG, Kelheim (Donau), sollen entsprechende Schäden verursachen, worauf ich später noch näher eingehen werde.

Die analogen, eingehenderen Untersuchungen des Mains, wo er durch die glaubersalzhaltigen Abwässer der Vereinigten Glanzstoff-Fabriken AG, Obernburg, verschmutzt wird, haben auf Grund der gleichen Beobachtungen zu demselben Resultat von der Unschädlichkeit dieses Abwassers bei den zur Zeit im Vorfluter herrschenden Konzentrationen geführt, wie eben für die Kelheimer Verhältnisse dargelegt worden ist. Die Unschädlichkeit der anorganischen Salze der Viskoseabwässer und die rasche Verdünnung derselben durch den Vorfluter hat von AMMON (1954) nicht nur in Kelheim, sondern auch in Obernburg beobachtet, wo von ihm analoge Untersuchungen durchgeführt worden sind. Aber auch hier hat von AMMON (1954) wieder biologische Schädigungen des Vorfluters durch Fäulnisstoffe festgestellt. LIEBMANN (1954) und KNÖPP (1954/1955) haben in diesem Zusammenhang sogar von einer Verödungszone gesprochen. Auf Grund meiner Ergebnisse komme ich besonders hinsichtlich

der Abwasserverhältnisse des Werkes Obernburg zu folgenden Schlußfolgerungen: Der Abdampfrückstand bzw. der Salzgehalt des Mainwassers aus dem Abwasserbereich, und zwar 100 m nach der Einleitung des Abwassers, beträgt 693 mg/l oder 0,07%, was als Mittelwert für die gesamte Verschmutzungsstrecke durch das Glaubersalz angenommen werden kann, der Sulfatgehalt 155 mg/l, die Karbonathärte 8,8 und der pH -Wert 7,3 bis 7,6. Dabei konnte bekanntlich keine Schädigung der Wasserorganismen festgestellt werden. Vergleiche ich nun diese Werte mit Literaturangaben von Untersuchungen über den Zusammenhang biologischer und chemischer Verhältnisse in natürlichen Gewässern, so komme ich zu der Feststellung, daß dauernde Einwirkung besonders wesentlich höherer Sulfatgehalte noch zu keiner Schädigung speziell von Rotatorien führt. Von STRUNDL (1939) sind u. a. gefunden worden: *Brachionus capsuliflorus* bei 81, 199 und 213 mg SO_4^{--}/l und einem pH -Wert von 8,8 bis 9,7; *Keratella cochlearis* bei 199 und 243 mg SO_4^{--}/l und einem pH -Wert von 8,6 bis 9,5; *K. quadrata* bei 81, 119, 199, 234, 243 und 292 mg SO_4^{--}/l und einem pH -Wert von 8,6 bis 9,8 und *Synchaeta spec.* bei 81 mg SO_4^{--}/l und einem pH -Wert von 8,8. Neben dem Gehalt an Sulfaten haben die chemischen Analysen ähnliche Werte für Chloride ergeben. ALTHAUS (1956/57) hat in den von ihr untersuchten versalzten Gewässern Mitteldeutschlands bei Sulfatmengen von 502 bis 992 mg/l, einer Karbonathärte von 3,9 bis 17,4 und einem pH -Wert von 6,67 bis 8,40 u. a. noch folgende Rädertiere beobachtet: *Brachionus angularis*, *Br. calyciflorus*, *Br. quadridentatus* = *Br. capsuliflorus*, *Br. rubens*, *Br. urceolaris*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Rotatoria neptunia*, und *R. tardigrada*. Lediglich von COLDITZ (1914) sind auf Grund seiner Untersuchungen über Rotatorien in natürlichen Gewässern nur noch vereinzelte Vertreter dieser Tiergruppe festgestellt worden, und zwar schon bei einem Salzgehalt von 0,1‰ (u. a. 172,2 mg Na^{++}/l und 331,3 mg SO_4^{--}/l). Gegen die Ansicht von der Schädlichkeit des glaubersalzhaltigen Abwassers des Werkes Obernburg auf Wasserorganismen bei den heutigen Konzentrationen im Vorfluter spricht außerdem noch folgende Überlegung: Die Länge der gesamten Verschmutzungsstrecke dieses Flusses durch das Glaubersalz beträgt ungefähr 1500 m und die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit bei der mittleren Abflußmenge von rund 90 m³ s nach Angabe der Schifffahrtsdirektion Würzburg 0,5 m/s. Die Wasserorganismen sind also der Beeinflussung dieses Abwassers nicht länger als 50 Minuten ausgesetzt. Die Strecke der größten Verschmutzung des Mains von der Abwassereinleitung bis 100 m flußabwärts (Abb. 6) durchschwimmen die Tiere nach einer analogen Berechnung sogar in 3,3 Minuten.

Die Ansicht, die VON AMMON (1954), LIEBMANN (1954) und KNÖPP (1954/1955) vertreten, daß es nämlich durch das Abwasser der Süddeutschen Zellwolle AG, Kelheim (Donau), und der Vereinigten Glanzstoff-Fabriken AG, Obernburg (Main), doch zu einer Schädigung der betreffenden Vorfluter kommt, und zwar durch organische, fäulnisfähige Stoffe, steht aber trotzdem nicht im Gegensatz zu dem Ergebnis meiner Untersuchungen, da ich mich nur

mit den anorganischen Bestandteilen dieses Abwassers beschäftigt habe. Diese machen sich aber nur auf einer kurzen Vorfluterstrecke bemerkbar, da sie bald durch Verdünnung beseitigt werden. Im Gegensatz dazu benötigen organische Abwasserbestandteile längere Zeit zum Abbau. Ihre Wirkung macht sich also in weiterer Entfernung von der Einleitung des Abwassers, wo von mir keine Untersuchungen mehr durchgeführt worden sind, bemerkbar.

Die Freilanduntersuchungen haben ergeben, daß keine schädliche Wirkung der Glaubersalzhaltigen Abwässer der Süddeutschen Zellwolle AG, Kelheim, und der Vereinigten Glanzstoff-Fabriken AG, Obernburg, als Vertreter der Viskoseindustrie auf Wasserorganismen bei den zur Zeit im Vorfluter herrschenden Konzentrationen festgestellt werden konnte. Die Ergebnisse der Experimente im Laboratorium mit analysenreinem Natriumsulfat hinsichtlich seiner Wirksamkeit auf *Br. angularis* und *Br. rubens* bestätigen dies. Der mittlere Sulfatgehalt, der in dem Glaubersalzhaltigen Abwasserband des Werkes Obernburg am Main gemessen worden ist, beträgt ungefähr 155 mg/l bzw. 229 mg Na_2SO_4 /l oder 0,02% (Abb. 6). Demgegenüber habe ich die Toxizitätsgrenze für *Br. angularis* bekanntlich erst bei 2,070 g Na_2SO_4 /l oder 0,2% und für *Br. rubens* bei etwa 0,889 g Na_2SO_4 /l oder 0,09% ermittelt und die höchste, aber noch ohne Schaden für die Tiere selbst ertragbare Konzentration für *Br. angularis* bei 2,760 g Na_2SO_4 /l oder 0,3% und für *Br. rubens* bei 1,700 g Na_2SO_4 /l oder 0,2%. Praktisch ergibt sich aus einem Vergleich von *Br. angularis* und *Br. rubens* mit anderen Tiergruppen, die von HIRSCH (1914), SCHEURING und STETTER (1950/51) und MEINCK, STOOF und WELDERT (1953) beobachtet worden sind, hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber Natriumsulfat, daß eine stärkere Schädigung der einzelnen Vertreter der verschiedenen in den natürlichen Gewässern beheimateten Tiergruppen vermieden wird, wenn man die für meine Versuchstiere höchsten, aber noch ohne Schaden für die Tiere selbst ertragbaren Konzentrationen dieses Salzes beachtet. Es gibt nur wenige Vertreter anderer Tiergruppen, die noch empfindlicher reagieren.

Bei der Beurteilung der Schadwirkung von Abwasser auf lebende Organismen ist von SCHEURING und STETTER (1950/51) darauf hingewiesen worden, daß nicht nur der mengenmäßig überwiegende Stoff, sondern auch dessen Beimengungen Beachtung finden müssen, im Rahmen meiner Arbeit also neben dem technischen Glaubersalz auch die Schwefelsäure und das Zinksulfat. Meine Untersuchungen haben diese Ansicht bestätigt. Bekanntlich ist die schädliche Einwirkung der technischen Verbindung auf meine Versuchstiere sehr viel stärker gewesen als bei dem analysenreinen Salz. Und diese stärkere Schadwirkung des technischen Glaubersalzes konnte bekanntlich auf den Einfluß des Zinksulfats zurückgeführt werden. Die höchste, aber noch ohne Schaden für die Tiere selbst ertragbare Konzentration habe ich bei 0,527 g techn. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ /l oder 0,05% für beide Testtierformen festgestellt. Diese Zahlen stehen im Einklang mit Beobachtungen von SCHEURING und STETTER (1950/51), von welchen die Rotatorien *Rotifer*, *Monostyla* und *Catypna* in einer 0,5%igen Ver-

suchslösung von technischem Natriumsulfat, allerdings ohne die Schwefelsäureverunreinigung, noch nach 4 Wochen lebend angetroffen worden sind.

Die große Schädlichkeit des Zinks und seiner Verbindungen auf lebende Organismen ist nach SAXL (1924) auf die sogenannte oligodynamische Wirkung dieses Metalles zurückzuführen. Darunter versteht man eine (meist biologische) Wirkung dieses Metalles und damit auch seiner Salze durch so kleine Mengen, daß sie chemisch nicht mehr nachweisbar sind. Betrachtet man die Angaben in der Literatur, welche die einzelnen Autoren wie JONES (1940¹ und 1940²), ANDERSON (1944), JONES (1947), SCHEURING und STETTER (1950 51) und AFFLECK (1952) über den Gehalt des Zinksulfats gemacht haben, der von den beobachteten Organismen noch ertragen wird, so handelt es sich dabei genau wie bei meinen Untersuchungen auch immer nur um wenige Milligramm.

Zum Abschluß der Diskussion über die Ergebnisse, welche ich auf Grund meiner Laboratoriumsversuche gewonnen habe, möchte ich noch kurz auf meine Beobachtungen bei der Züchtung von *Br. rubens* eingehen. Nach SCHMIDT-RIES (1935) sind die Weibchen von *Brachionus rubens* (*Brachionus urceus* Linné var. *rubens* Ehrbg.) nur bei der Anwesenheit von *Daphnia magna* Straus fortpflanzungsfähig. Diese Ansicht scheint mir auf einem Irrtum zu beruhen, denn ich habe diese Form, welche einwandfrei bestimmt worden ist, länger als ein Jahr unter den von mir im Kapitel „Material und Methodik“ angeführten Bedingungen gezüchtet.

VI. Zusammenfassung

1. Die Aufgabe dieser Arbeit hat darin bestanden, die Wirkung von Glaubersalz als dem Hauptbestandteil des Abwassers der Kunstseide- und Zellwollfabriken auf Wasserorganismen unter besonderer Berücksichtigung der Rotatorien festzustellen.

2. Die biologischen und chemischen Freilanduntersuchungen sind an der Donau, dem Vorfluter für die Süddeutsche Zellwolle AG, Kelheim, und am Main, dem Vorfluter für die Vereinigten Glanzstoff-Fabriken AG, Obernburg, durchgeführt worden. Daran haben sich Laboratoriumsversuche angeschlossen unter besonderer Berücksichtigung der am Main vorgefundenen Verhältnisse.

3. Die Untersuchungen der Donau haben keine biologische Schädigung durch das glaubersalzhaltige Abwasser des Werkes Kelheim bei den derzeitigen Konzentrationen ergeben, denn die biologische Lebensgemeinschaft der Donau erfährt nach der Abwassereinleitung hinsichtlich ihrer Zusammensetzung keine charakteristische Veränderung, die auf die Wirkung des salzhaltigen Abwassers zurückgeführt werden könnte, also wenig Arten, aber ein Massenvorkommen derselben. Der Grund dafür wird besonders in der starken Verdünnung des Abwassers durch den Vorfluter gesehen.

4. Die beiden Untersuchungen des Mains, wo er durch das Glaubersalzhaltige Abwasser des Werkes Obernburg verschmutzt wird, bestätigen das Ergebnis der Donauuntersuchung.
5. Bei den Experimenten im Labor ist die Toxizitätsgrenze für *Brachionus angularis* bei 2,070 g Na_2SO_4 /l oder 0,2% und für *Br. rubens* bei etwa 0,889 g Na_2SO_4 /l oder 0,09% festgestellt worden und die höchste, aber noch ohne Schaden für die Tiere selbst ertragbare Konzentration für *Br. angularis* bei 2,760 g Na_2SO_4 /l oder 0,3% und für *Br. rubens* bei 1,700 g Na_2SO_4 /l oder 0,2%.
6. Demgegenüber habe ich bei analogen Versuchen mit technischem Glaubersalz die höchste, aber noch ohne Schaden für die Tiere selbst ertragbare Konzentration für *Br. angularis* und *Br. rubens* bei 0,527 g techn. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ /l oder 0,05% ermittelt. Die technische Verbindung hat die Testtiere also stärker geschädigt als das analysenreine Salz. Der Grund dafür ist in der Wirkung der Verunreinigungen des technischen Glaubersalzes, Schwefelsäure und Zinksulfat, zu suchen gewesen.
7. Bei Experimenten mit Schwefelsäure ist festgestellt worden, daß diese Säure, jedenfalls in der Konzentration, wie sie das technische Glaubersalz enthält, für meine Versuchstiere relativ unschädlich ist.
8. Bei entsprechenden Versuchen mit der zweiten Verunreinigung, dem Zinksulfat, zeigt sich dagegen, daß auf den Einfluß dieses Salzes die größere Schädigung der technischen Verbindung im Vergleich zu dem analysenreinen Natriumsulfat zurückzuführen ist. Die höchste, aber noch ohne Schaden für die Tiere selbst ertragbare Konzentration habe ich für meine Testtiere bei etwa 1 mg ZnSO_4 /l festgestellt.
9. Ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse von Donau und Main mit den Laboratoriumsversuchen ergibt, daß Glaubersalz ein relativ unschädliches Salz für Wasserorganismen ist, lediglich eine Verunreinigung dieser Verbindung mit Zinksulfat, wie sie bei der Produktion der Kunstseide- und Zellwollefabriken auftritt und mit dem Abwasser zusammen in den jeweiligen Vorfluter geleitet wird, muß beachtet werden.

VII. Literaturverzeichnis

- AFFLECK, R. C.: The Effect Galvanized-Iron Pipes on Water in a Treat Hatchery. The Australian Journ. of Science 14 (1952), 131.
- ALTHAUS, B.: Faunistisch-ökologische Studien an Rotatorien salzhaltiger Gewässer Mitteleuropas. Wiss. Z. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, math.-nat. Reihe, Jg. 6 (1956/57), 117—157.
- AMMON, F. von: Chemische Untersuchungen an Donau und Main. Münchner Beiträge z. Abwasser-, Fischerei- und Flußbiol. 2 (1954), 210—234.

- ANDERSON, B. G.: The toxicity thresholds of various substances found in industrial as determined by the use of *Daphnia magna*. *Sewage Works Journ.* 16 (1944), 1156—1165.
- BROHMER, P.: Fauna von Deutschland, ein Bestimmungsbuch unserer heimischen Tierwelt. 5. Aufl., Verl. Quelle u. Mayer, Leipzig 1944.
- BUDDE, H.: Die Algenflora westfälischer Salinen und Salzgewässer. *Arch. f. Hydrobiol.* 23 (1931), 462—490.
- COLDITZ, F. W.: Beiträge zur Biologie des Mansfelder Sees (sog. Süßer See). *Z. f. wiss. Zool.*, 108 (1914), 520—630.
- COLLIN, A., DIEFFENBACH, H., SACHSE, R., u. VOIGT, M.: Rotatoria und Gastrotricha aus „Die Süßwasserfauna Deutschlands, eine Exkursionsfauna“ von Brauer, A., H. 14, Verl. Gustav Fischer, Jena 1912.
- DONNER, J.: Zur Rotatorienfauna Südmährens, Abschluß. *Österr. Zool. Z.* 5 (1954), 30—117.
- HIRSCH, E.: Untersuchungen über die biologische Wirkung einiger Salze. *Zool. Jb.* 34 (1914), 559—682.
- HUBER-PESTALOZZI, G.: Das Phytoplankton des Süßwassers, Systematik und Biologie, Diatomeen aus „Die Binnengewässer“ von Thienemann, A., XVI, 2. Tl. 2. Hälfte, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdl., Stuttgart 1942.
- HUSTEDT, Fr.: Die Kiesalgen aus „Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz“ von L. Rabenhorst, VII, 1. Tl. u. 2. Tl., Lfg. 1—5, Akad. Verlagsgesellschaft mbH, Leipzig 1930.
- JONES, I. R. E.: A study of the zink pollute at river Ystwyth in North Cardiganshire, Wales, *Ann. of Appl. Biol.* 27 (1940₁), 368—378.
- JONES, I. R. E.: A further study of the relation between toxicity and solutions pressure with *Polycelis nigra* as a test animal. *Journ. Exp. Biol.* 17 (1940₂), 408—415.
- JONES, I. R. E.: The reactions of *Pygosteus pungitius* L. to toxic solutions. *Journ. Exp. Biol.* 24 (1947), 110—122.
- KAESTNER, A.: Lehrbuch der speziellen Zoologie. Tl. 1: Wirbellose, 1. Lfg., Verl. VEB Gustav Fischer, Jena 1954.
- KARNY, H.: Biologie der Wasserinsekten, ein Lehr- und Nachschlagebuch. Verl. Fritz Wagner, Wien 1934.
- KNÖPP, H.: Ein neuer Weg zur Darstellung biologischer Vorfluteruntersuchungen, erläutert an einem Gütelängsschnitt des Mains. *Wasserwirtschaft Jg.* 14 (1954/55), 9—15.
- LIEBMANN, H.: Biologie der Donau und des Mains. *Münchener Beiträge z. Abwasser-, Fischerei- u. Flußbiol.* 2 (1954), 111—209.
- LINDAU, G., u. MELCHIOR, H.: Die Algen aus „Kryptogamenflora für Anfänger“. 4, 2. Abt., 2. Aufl., Verl. Julius Springer, Berlin 1930.
- LÜRMANN, B.: Wasserhaushalt der Süßwasserrotatorien. *Zool. Jb.* 63 (1951/53), 367—402.
- MEINCK, F., STOOFF, H., WELDERT, H.: Industrieabwässer. Verl. Gustav Fischer, Stuttgart 1953.
- SAXL, P.: Die oligodynamische Wirkung der Metalle und Metallsalze. *Abhdl. aus dem Gesamtgebiet d. Medizin* 7 (1924), 5—57.
- SCHEURING, L., STETTER, H.: Versuche über die Wirkung von Na_2SO_4 auf Wasserorganismen. *Jb. Vom Wasser* 18 (1950/51), 78—100.
- SCHMIDT-RIES, H.: Beobachtungen an *Brachionus urceus* Linné var. *rubens* Ehrenbg. *Zool. Anzeiger* 112 (1935), 298—303.
- SCHULZE, E.: Über Nitratbehandlung schwefelwasserstoffhaltiger Abwässer und deren Einfluß auf die Mikrobiologie. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik, Jg.* 3 (1953), 387—393.
- SIERP, Fr., SPLITTGERBER, A., HOLTHÖFER, H.: Gewerbliche und industrielle Abwässer. *Hb. d. Lebensmittelchemie* 8, Wasser und Luft, 1. Tl. *Technolog. des Wassers* (1939), 471—670.
- STEFFENS, W.: Über Abwasserfragen unter besonderer Berücksichtigung der Abwässer von Kunstseiden- und Zellstoff-Fabriken. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 2. Jg.* (1952), 144—146.

- STUNDL, K.: Limnologische Untersuchungen an Salzwässern und Ziehbrunnen im Burgenland (Niederdonau). Arch. f. Hydrobiol. 24 (1939), 81—104.
- TSCHÖNHENS, B.: Die Wasserwirtschaft der bayerischen Industrie, insbesondere die Abwasserprobleme der chemischen Großindustrie. (Veröffentl. aus dem Arbeitsbereich d. Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde d. Obersten Baubehörde im Bayer. Staatsministerium des Innern u. d. Bayer. Biol. Versuchsanstalt.) GWF, Ausgabe Wasser, Jg. 92 (1951), 125—131.
- WESENBERG-LUND, C.: Biologie der Süßwassertiere. Verl. Julius Springer, Wien 1939.

Lebenslauf

Am 18. Mai 1931 wurde ich, Anna Klara Ruth Müller, als das erste von zwei Kindern des Bergingenieurs Dr. Friedrich Gustav Müller-Delitzsch und seiner Ehefrau Klara Rosa, geb. Müller, in Halle (Saale) geboren. Ich besuchte in Naumburg (Saale) in der Zeit von 1937 bis 1941 die Grundschule und von 1941 bis 1949 die Oberschule für Mädchen. Mit dem am 15. Juli 1949 bestandenem Abitur war meine Schulzeit beendet. 1949 und 1950 bewarb ich mich zum Studium an den Universitäten Jena (Saale) und Halle (Saale), wurde aber abgelehnt. Aus diesem Grunde begann ich im Wintersemester 1950/51 an der Freien Universität Berlin-West Biologie und Chemie zu studieren. Am 12. Mai 1953 bestand ich die Vordiplomprüfung und immatrikulierte mich zum Wintersemester 1953/54 an der Universität München, um mich an der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt München bei Herrn Professor Dr. H. Liebmann als Abwasserbiologin ausbilden zu lassen.

Am 6. März 1958 habe ich Herrn Diplomchemiker Ingo Wilck geheiratet.

